

AN: PAT 1984-018095
TI: High speed electrical machine rotor has strong outer shell
containing central piece, pole pieces and filler material
PN: **DE3224904-A**
PD: 12.01.1984
AB: The rotor is designed for use in high speed motors and
generators. It is esp. for rotating field machines with
permanent field excitation and with high power density. The
rotor (1) has a thin shell (10), made of strong magnetic
material. A typical two-pole rotor has a central piece (2) with
a bore through it to accommodate the shaft of the machine.
There are two pole pieces (4), one on either side of the
central piece, and with curved ends to fit inside the outer
shell. The small gaps between the sides of the pole pieces and
the ends of the central piece are filled with a suitable
material (8). The ends of the central piece are flat, and this
same material fills the curved space between the ends and the
shell.;
PA: (DOSY) DORNIER SYSTEM GMBH;
IN: KASTNER A; KUNZ W; METZGER K; SCHWARZ L; TRUMPFHELL E;
FA: **DE3224904-A** 12.01.1984; **DE3224904-C** 06.11.1986;
CO: DE;
IC: H02K-001/06;
MC: V06-M07; X11-J01B;
DC: V06; X11;
PR: **DE3224904** 03.07.1982;
FP: 12.01.1984
UP: 06.11.1986

THIS PAGE BLANK (USPTO)



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑳ Aktenzeichen: P 32 24 904.7
㉔ Anmeldetag: 3. 7. 82
㉕ Offenlegungstag: 12. 1. 84

DE 32 24 904 A 1

㉗ Anmelder:
Dornier System GmbH, 7990 Friedrichshafen, DE

㉘ Erfinder:
Kästner, August, Dr.-Ing., 7777 Salem, DE; Kunz,
Wunnibald; Metzger, Klaus, Dr.-Ing., 7990
Friedrichshafen, DE; Schwarz, Lorenz, 7759
Immenstaad, DE; Trumpfeller, Ernst, 7778
Markdorf, DE

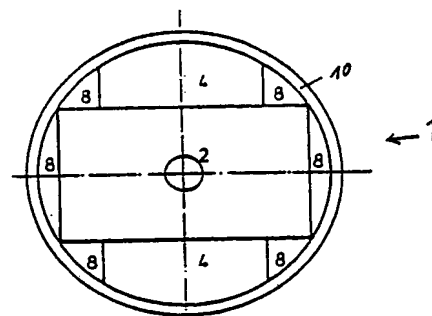
DEUTSCHES PATENTAMT
FRIEDRICHSHAFEN
VERKEHRSSCHREIBSTELLE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Rotor für schnelldrehende Motoren und Generatoren

Rotor für permanentfelderregte Drehfeldmaschinen hoher Leistungsdichte und hoher Drehzahl, der von einem dünnen Mantel (10) aus hochfestem, weichmagnetischem Material gepanzert ist, welcher durch zusätzliches Magnetmaterial (4) in den eigentlichen Pollücken (Umfang über 8) bis in die Sättigung aufmagnetisiert ist, wodurch ein magnetischer Kurzschluß des Hauptfeldes vermieden wird. Eine zweite Lösung für die gleiche Aufgabe ist die Panzerung des Rotors mit einem dünnen Mantel aus faserverstärktem Kunststoff anstelle des oben genannten Metallpanzers. (32 24 904)

Fig. 1



DE 32 24 904 A 1

DORNIER SYSTEM GMBH
7990 Friedrichshafen

Reg. S 427

P a t e n t a n s p r ü c h e :

1. Gepanzerter Rotor für permanentmagnetisch erregte Drehfeldmaschinen hoher Drehzahlen, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (1) mittels eines dünnen Mantels (10) aus hochfestem, magnetischem Material gepanzert ist, wobei der magnetische Kurzschluß in den Pollücken (Umfang über 8) durch Aufmagnetisieren des Panzers (10) bis in die Sättigung vermieden wird und der dazu erforderliche magnetische Fluß durch zusätzliches Magnetmaterial in den Pollücken - z. B. durch eine besonders breite Ausführung der Magneten 4 - erzeugt wird.
2. Herstellung eines Rotors nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein leicht konischer Panzer (10) durch geeignete Verfahren (z.B. Erhitzen) geweitet und über den Kern (2, 4, 8) des Rotors gepreßt wird.
3. Rotor nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Panzer (10) durch Umbördeln über eine Metallscheibe (14) kraftschlüssig mit der Welle (12) verbunden ist.

4. Rotor nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Welle (18) durch Verschweissen des Abschlußstückes (20) an den Panzer (10) des Rotors (7) erfolgt.
5. Rotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Panzer (10) aus faserverstärktem Kunststoff (z.B. CFK) gebildet ist.
6. Herstellung eines Rotors nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorspannung mittels verschiebbarer Keile (24, 26) in den Pollücken erreicht wird.
7. Herstellung des Rotors nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die C-Fasern direkt auf den Rotor gewickelt werden und die Vorspannung durch den Fadenzug aufgebracht wird.
8. Rotor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Zentralstück (31) konisch mit prismatischem Querschnitt ausgeführt ist mit einer Eckenzahl, die der Polzahl entspricht und dass die Verspannung des Mantels (10) durch das Verpressen von keilförmig gestalteten Winkelstücken (32) mit dem Zentralstück (31) erfolgt.
9. Rotor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Zentralstück (33) konisch mit prismatischem Querschnitt ausgeführt ist, dessen Eckenzahl der Polzahl entspricht und dass die Verspannung des Mantels (10) durch Verpressen

von dreieckigen Keilen (34), deren Kanten mehr oder weniger stark gebrochen sind, mit dem konischen Zentralstück (33) erfolgt.

10. Rotor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Verspannung des Mantels (10) durch Verpressen eines konischen Zentralstückes (31) mit prismatischem Querschnitt direkt mit den Magneten (4) erfolgt, die auf der Innenseite in entsprechender Weise konisch ausgebildet sind.
11. Rotor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnete (4) in Nuten eines Zentralstückes (35) so eingeklebt werden, dass zwischen den Nutseitenwänden, welche durch Stege (36) gebildet werden, und den Magneten (4) eine Klebenaht (37) gebildet wird, die die Fliehkräfte der Magnete über Schub aufnimmt.

DORNIER SYSTEM GMBH
7990 Friedrichshafen

Reg. S 427

· Rotor für schnelldrehende Motoren und Generatoren

Die Erfindung betrifft einen Rotor für permanentmagnetisch erregte Drehfeldmaschinen für hohe Drehzahlen.

Bei hohen Drehzahlen dynamoelektrischer Maschinen treten am Rotor hohe Fliehkräfte auf, die zur Zerstörung des Bauteiles führen, wenn sie die zulässigen Zugspannungen des Materials überschreiten.

Bekannte Lösungen zum Kleinhalten der Fliehkräfte oder zur Erhöhung der Festigkeit sind:

- a) Die Reduzierung des Durchmessers.
- b) Die Erhöhung der Festigkeit durch Verzicht auf Magneten im Rotor z.B. die Verwendung eines einfachen oder profilierten Blechringes als Läufer wie er in Hysteresemotoren bzw. Unipolarmaschinen üblich ist.

Durch beide Verfahren wird aber das Drehmoment und damit die Leistungsfähigkeit des Motors stark herabgesetzt. Sie werden deshalb im wesentlichen nur für Motoren kleiner Leistung angewendet. Für höhere Leistungen bzw. Leistungsdichten sind Rotoren mit Permanentmagneten vorteilhafter. Hochremanente Permanentmagnete sind wegen ihrer inneren Gefügestruktur sehr spröde und empfindlich gegenüber Stoßbelastungen und Zugspannungen. Sie können nicht als tragendes Material verwendet werden, da sie die auftretenden Zugspannungen nicht aufnehmen können. Sie müssen deshalb gepanzert werden. Bekannt ist die Panzerung von Rotoren mit hochfesten unmagnetischen Metallen, die die Magnete, Polstücke und unmagnetische und weichmagnetische Füllstücke des Rotors ringförmig umfassen und unter Vorspannung zusammenhalten.

Panzer aus hochfesten Materialien, z.B. aus hochfesten Stählen, wie Maraging-Stählen werden bisher nicht verwendet, da diese Materialien weichmagnetisch sind, d.h. den magnetischen Fluß sehr gut leiten. Der Hauptfluß des magnetischen Feldes würde bei einer solchen Anordnung von einem Pol des Rotors durch den Panzer zum nächsten Pol des Rotors fließen und so den Rotor magnetisch kurzschließen. Nur ein geringer Teil des Feldes würde bestimmungsgemäß über den Luftspalt in den Stator gelangen. Bekannt sind Rotoren mit einer Panzerung aus einem magnetisch schlecht leitenden Material, z.B. Titan, bei dem das oben genannte Problem des magnetischen Kurzschlusses nicht auftritt. Das ungünstige Fließverhalten von Titan bei hohen Zugbelastungen vermindert jedoch die zulässige Spannung

im Rotor. Zudem ist eine relativ grosse Wandstärke des Titanpanzers erforderlich.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Rotor für permanentfeld-erregte Drehfeldmaschinen hoher Leistungsdichte, hoher Drehzahl (je nach Durchmesser bis zu 100 000 U/min) und kleiner Streuinduktivität zu schaffen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäss durch einen Rotor gelöst, der von einem dünnen Mantel aus hochfestem, weichmagnetischem Material gepanzert ist, welcher durch zusätzliches Magnetmaterial in den eigentlichen Pollücken bis in die Sättigung aufmagnetisiert ist, wodurch ein magnetischer Kurzschluß des Hauptfeldes vermieden wird. Eine zweite Lösung für die gleiche Aufgabe ist die Panzerung des Rotors mit einem dünnen Mantel aus faserverstärktem Kunststoff anstelle des oben genannten Metallpanzers.

Bei beiden Lösungen wird der Panzer durch geeignete Vorrichtungen oder Herstellungsverfahren vorgespannt.

Ausbildungen der Erfindung und Herstellungsverfahren sind Gegenstände von Unteransprüchen.

Die Sättigung des Panzermaterials in der Pollücke erfolgt z.B. durch eine breitere, stärkere Ausführung der Permanentmagnete. Vorteilhaft an der Erfindung ist die so erstmalig erreichte Verbindung von hoher Leistung und extrem hoher Drehzahl, wo-

durch sich dieser Motor oder Generator zum Anschluß an Abgas-turbolader, Schwungradspeicher, Zentrifugen, Spinnmaschinen oder hochtourige Schleifspindeln eignet.

Weitere Vorteile ergeben sich bei der Kombination:

Permanenterregung, magnetischer Panzer dadurch, dass der magnetisch wirksame Luftspalt verkleinert ist und dadurch entweder eine höhere Luftspaltinduktion oder eine Reduktion der Magnetmasse möglich ist.

Bei der Kombination: Permanenterregung, Faserpanzer ergeben sich andere Vorteile. Hier ist zwar der magnetische Luftspalt grösser, es ergeben sich aber besonders kleine Streuinduktivitäten, wodurch der Motor für höchste Drehzahlen besonders geeignet ist.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus den Figuren, die nachfolgend näher erläutert sind.

Es zeigen:

- Fig. 1 einen erfindungsgemässen Rotor mit Metallpanzer,
- Fig. 2 ein dazugehöriges Herstellungsverfahren,
- Fig. 3 zwei mögliche Achsbefestigungen,
- Fig. 4 einen erfindungsgemässen Rotor mit CFK-Panzer,
- Fig. 5 ein dazugehöriges Herstellungsverfahren,
- Fig. 6 - 8 drei weitere Ausführungsformen.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine (hier zweipolige) Ausführung des erfindungsgemässen Rotors.

Der Rotor 1 besteht aus einem, den magnetischen Fluß leitenden Mittelstück 2 mit Achsenloch, zwei Permanentmagneten 4, Füllstücken 8 aus nichtmagnetischem Material und dem Panzer 10 aus hochfestem, weichmagnetischem Material. Der Panzer 10 steht unter hoher Vorspannung und presst den Kern, der aus den Teilen 2, 4, 8 besteht, fest aneinander. Die Kernteile sind mittels Fügezwischenlagen aus Klebstoffen (2-4, 2-8, 4-8) oder aus duktilen Metallfolien verbunden bzw. getrennt.

Ein nennenswerter Verlust durch einen magnetischen Kurzschluß von Pol 4 zu Pol 4 durch das magnetisch gut leitende Bauteil 10 wird durch die folgenden zwei Merkmale vermieden:

- a) Durch Erhöhung des magnetischen Widerstandes in der Pol-lücke (Umfang über den Füllstücken 8) mittels Aufmagnetisierung des Panzers 10 bis zur Sättigung und
- b) durch den klein gewählten Panzerquerschnitt, der trotz seines kleinen spezifischen magnetischen Widerstandes nur einen kleinen magnetischen Fluß im Panzer zwischen den Polen (4-4) erlaubt.

Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch noch nicht zusammengebaute Elemente eines erfindungsgemässen Rotors. Dabei sind der Panzer 10 und die äusseren Kernteile 4, 8 leicht konisch geformt. Der Neigungswinkel beträgt ca. 1° (in der Zeichnung sind dieser Winkel und die Panzerdicke übertrieben dargestellt). Die Herstellungsverfahren sind für kurze (z.B. Länge $l < 3 \cdot \text{Dicke } d$) und lange (z.B. $l > 3 d$) Rotoren leicht unterschiedlich. Bei den kurzen Rotoren wird der Panzer

lediglich aufgepresst und die zu erzielende Vorspannung über die Durchmesser aufweitung kontrolliert.

Bei langen Rotoren kann die zur Überwindung der Reibung erforderliche Preßkraft so stark steigen, dass sie nur mit Schwierigkeiten auf den Mantel übertragen werden kann. Zusätzlich kann die elastische Verformung des Mantels in axialer Richtung zu unzulässigen unterschiedlichen Vorspannungen über die Länge führen. In diesem Fall wird der Mantel zusätzlich erwärmt und die daraus folgende radiale Dehnung des Mantels für den Fügevorgang ausgenützt.

Fig. 3 zeigt zwei fertiggefügte Rotorhälften 5, 7 mit verschiedenen, untereinander kombinierbaren Merkmalen zur Befestigung der Endplatte und der Achse. Beim Rotor 5 auf der linken Seite ist eine eingesteckte Rotorwelle 12 als Zentralstück gezeigt, die über eine Metallscheibe 14 kraftschlüssig mit dem Panzer 10 verbunden ist. Dies geschieht durch Umbördeln des Randes des Panzers 10 über die Scheibe 14. Zur Vermeidung magnetischer Rückschlüsse in axialer Richtung ist diese Scheibe unmagnetisch ausgeführt.

Mit Rotor 7 auf der rechten Seite ist eine andere Ausführung gezeigt. Die Rotorwelle 18 ist direkt mit einer Endscheibe 20 verbunden und reicht nicht durch den Rotorkörper. Die Endscheibe 20 ist hier an den Mantel 10 angeschweisst. Der Luftspalt 22 verhindert während des Anschweissens eine zu hohe Erwärmung des Magnetwerkstoffes 4. Ein magnetischer Kurzschluß wird entweder durch die Wahl eines magnetisch nicht

leitenden Materials für die Scheibe 20 (z.B. austenitischer Stahl) oder durch entsprechende Verringerung der Wandstärke, insbesondere des freien Endes der Panzerung, vermieden.

Fig. 4 zeigt einen Querschnitt durch einen erfindungsgemässen vierpoligen Rotor 9 mit einem Panzer aus faserverstärktem Kunststoff. Der Rotor besteht aus einem Mittelstück 2 mit Achsenloch, vier Permanentmagneten 4 und dem Panzer 10 aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK). In dieser Ausführung sind in den Ecken zwischen den Magneten 4 vierkantige Aussparungen vorgesehen, in denen je zwei Keile 24, 26 liegen. Mit diesen Keilen wird die tangentiale Vorspannung des Panzers 10 hergestellt.

In Fig. 5 ist ein Verfahren zum Aufbringen der Vorspannung in dem mittels faserverstärktem Kunststoff gepanzerten Rotor 9 gezeigt. Fig. 5 zeigt einen nicht maßstäblich Schnitt entlang der Linie A-A der Fig. 4 während der Herstellung mit dem Kernstück 2, den Keilen 24 und 26 und dem CFK-Mantel 10. Kernstück 2, Magnete 4, äussere Keile 26 und Panzer 10 liegen auf einer ebenen Unterfläche 28. Eine zweite ebene Platte 30 liegt auf den inneren Keilen 24. Durch Druck in Pfeilrichtung werden die Keile 24 über die Keile 26 geschoben und der Ring 10 in der gewünschten Weise vorgespannt. Eine Gleitreibung an der Innenseite des CFK-Panzers wird so vermieden. Diese könnte zu einer Verletzung des Panzers 10, der aus im wesentlichen umlaufenden Fasern besteht, führen.

Fig. 6 zeigt einen Rotor 13 im Längs- und im Querschnitt, bei dem die Vorspannung des Mantels 10 durch die Keilflächen des Kernstückes 31 und der Zwischenstücke 32 erreicht wird. Die Zwischenstücke 32 bilden hierbei ein kastenförmiges Gebilde mit einer Eckenzahl, die gleich der Polzahl des Rotors ist. Dieses kastenförmige Gebilde ist magnetisch leitend und jeweils in der Mitte der Magnetpole 4 geteilt. Damit lassen sich insbesondere kleine Rotoren preisgünstiger als nach Fig. 4 herstellen.

Fig. 7 zeigt eine weitere Version 15 mit keilförmigem Kernstück 33 im Längs- und im Querschnitt. Diese Version ist vor allem für Rotoren gedacht, bei denen die biegekritische Drehzahl durch andere konstruktive Maßnahmen weit genug von der Betriebsdrehzahl gehalten werden kann, da der Kernstückdurchmesser, bezogen auf den Rotordurchmesser, kleiner als bei Fig. 6 ausfällt. Die Steigung des Keiles ist übertrieben gezeichnet.

In dieser Version werden die Magnete 4 über die keilförmig ausgeführten Stücke 34 durch das ebenfalls keilförmig ausgeführte Mittelstück 33, das gleichzeitig die Rotorwelle darstellt, auseinandergespreßt. Vor allem das Stück 34 lässt sich verhältnismässig preisgünstig herstellen.

Fig. 8 zeigt eine besondere kostengünstige Ausbildung, die vor allem für Rotoren mit verhältnismässig geringer Drehzahlbelastung aber hoher Leistung angewendet werden kann. Hier

ist das magnetisch leitende Kernstück 35 mit Längsnuten versehen, die der Fixierung der Magnete dienen. Die seitliche Begrenzung der Nuten bilden die Stege 36. In diese Nuten werden die Magnete 4 eingeklebt, wobei in der Klebnaht 37 zwischen den Magneten 4 und den Stegen 36 die Fliehkräfte der Magnete in der für eine Klebnaht günstigsten Beanspruchungsform der Schubbeanspruchung aufgenommen werden.

Fig. 1

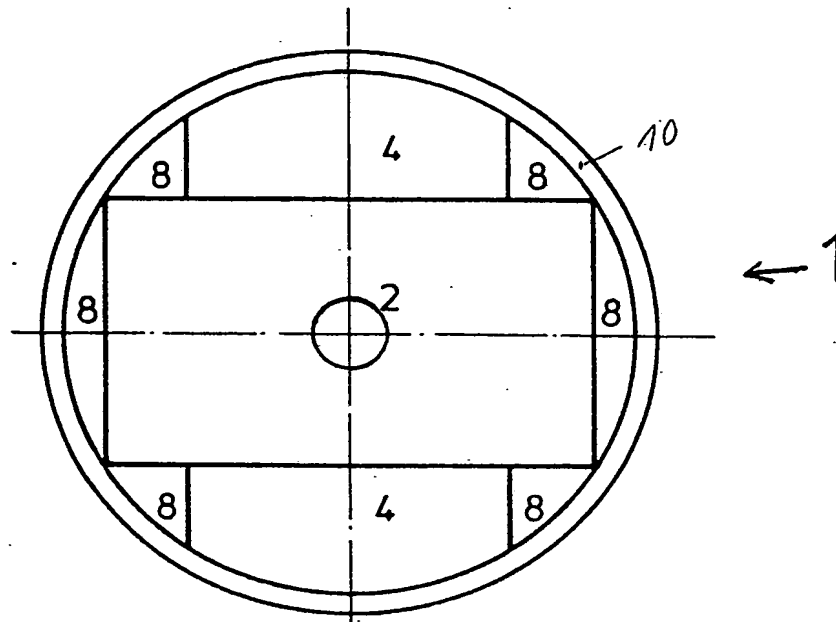
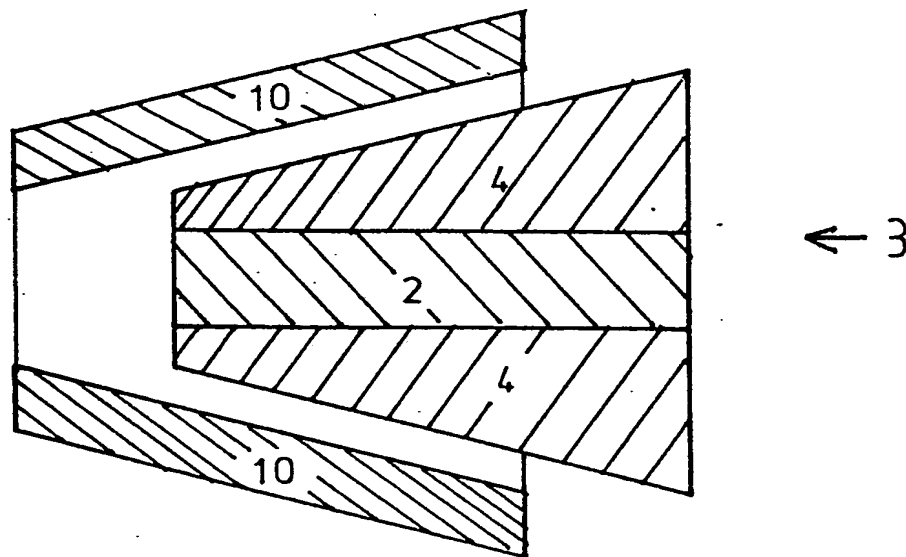


Fig. 2



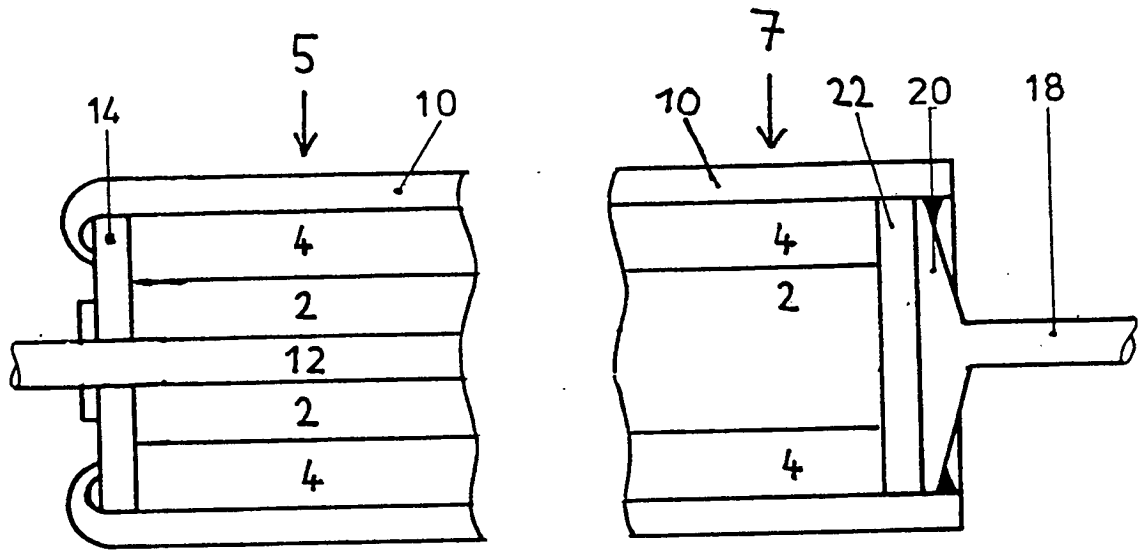
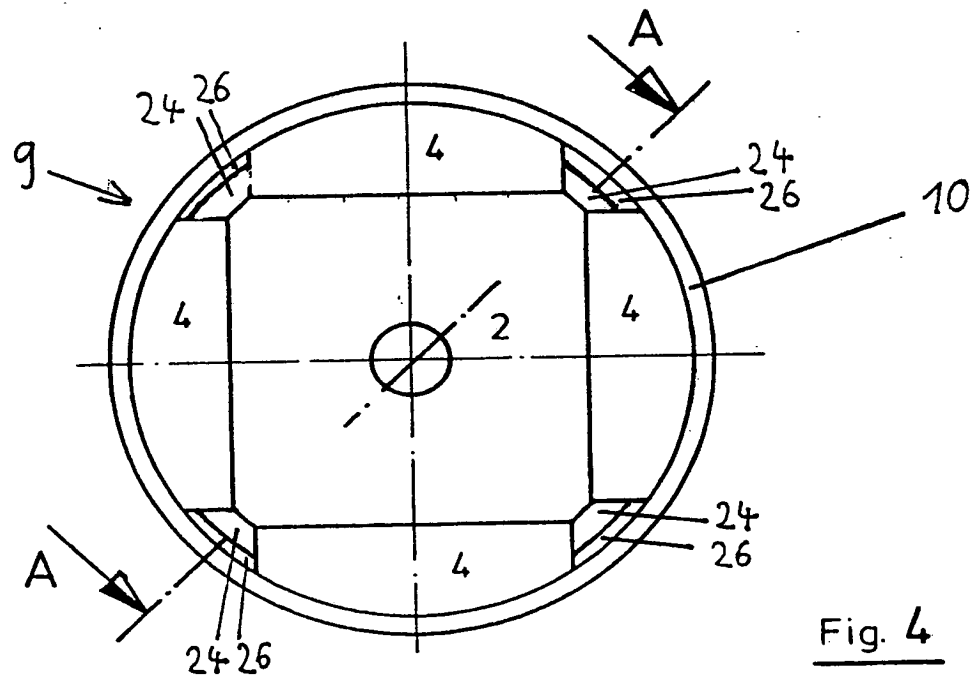
Fig. 3Fig. 4

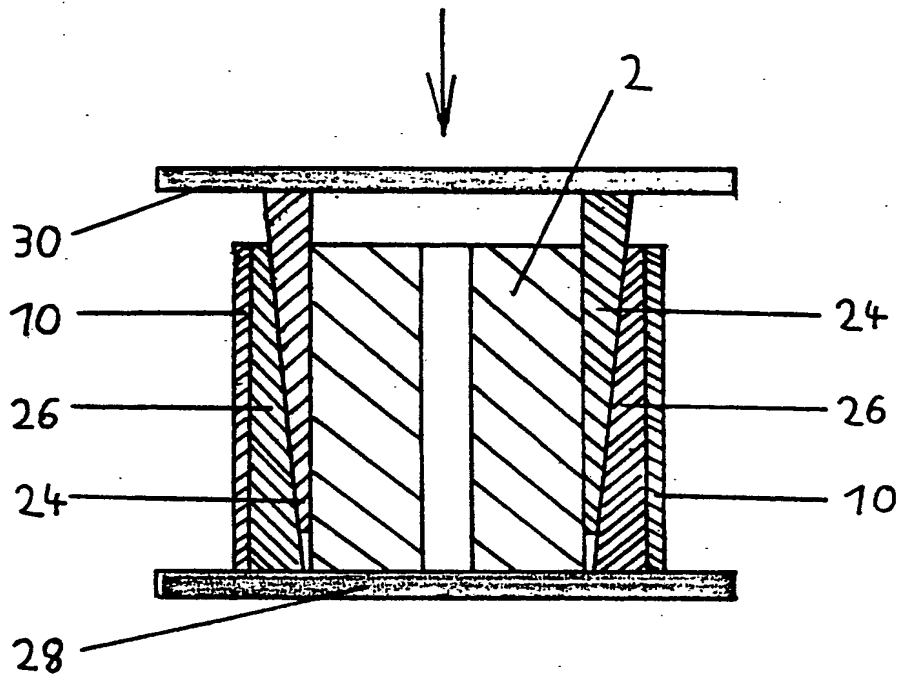
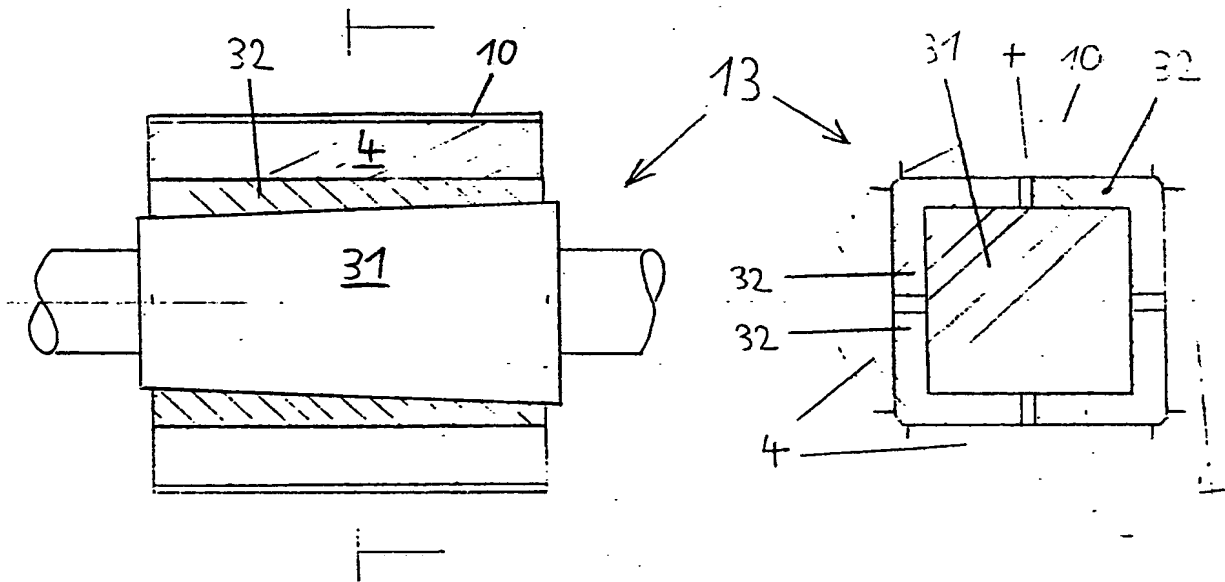
Fig. 5Fig. 6

Fig. 7

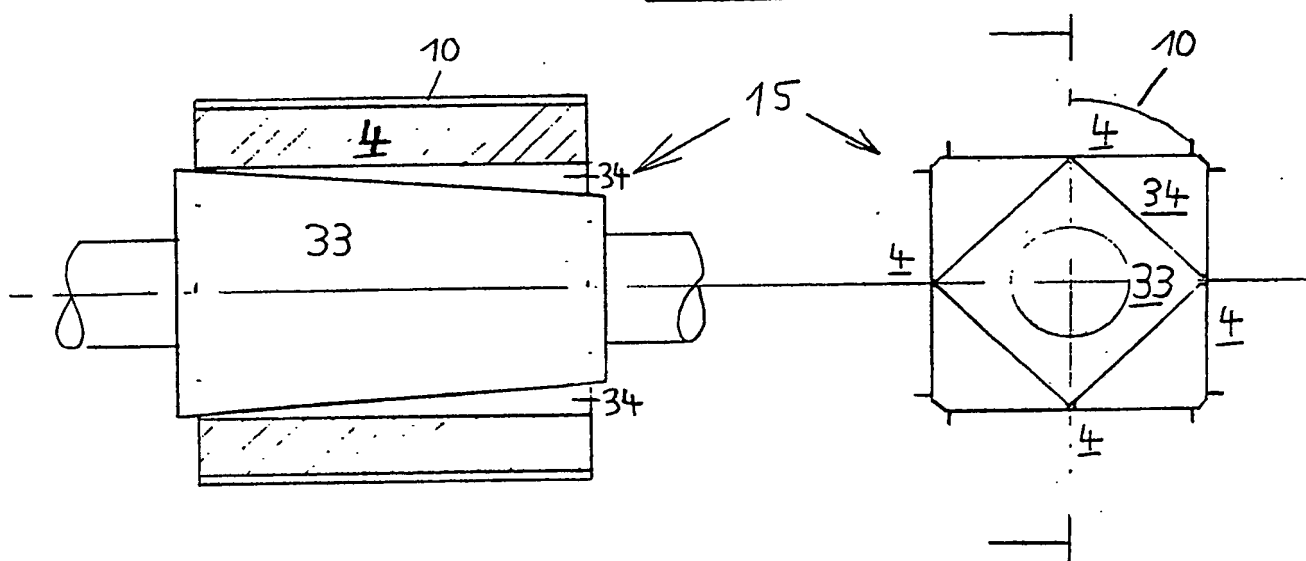


Fig. 8

